

05.4;11;12

Влияние десорбции на формирование состава тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников при магнетронном напылении

© А.К. Воробьев, С.В. Гапонов, М.Н. Дроздов,
Е.Б. Ключенков, В.И. Лучин, Д.В. Мастеров

Институт физики микроструктур РАН, Н. Новгород

Поступило в Редакцию 6 июля 1998 г.

Приводятся результаты исследований влияния десорбции, обусловленной взаимодействием поверхности конденсации с частицами плазмы, на формирование состава тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников Y-Ba-Cu-O при магнетронном напылении. На основе анализа вольт-амперных характеристик зондов Ленгмюра определены значения плавающего потенциала подложки при различных давлениях рабочего газа. Методом электронной Оже-спектроскопии определен элементный состав пленок, полученных при различных напряжениях смещения на подложке. Установлено, что при магнетронном напылении пленок Y-Ba-Cu-O существенное влияние на формирование состава конденсата может оказывать селективная десорбция компонентов с подложки и окружающих элементов конструкции, обусловленная бомбардировкой ионами плазмы, ускоренными в поле плавающего потенциала.

Одним из важных направлений технологии тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников является повышение их однородности. Неоднородности в масштабах $0.01-1 \mu\text{m}$ связаны с существованием в пленках несверхпроводящих частиц вторичных фаз, крайне нежелательных для большинства применений. Частицы вторичных фаз появляются в пленках сверхпроводников в ходе *in situ* роста в результате отклонений состава конденсата от стехиометрии. Известно, что при магнетронном напылении многокомпонентных материалов адекватность переноса состава от мишени к подложке может нарушаться по следующим причинам [1]: 1) изменения в составе многокомпонентной мишени в результате диффузии компонентов из объема к поверхностному измененному слою; 2) селективное рассеяние распыленных атомов

рабочим газом; 3) селективная десорбция компонентов с поверхности конденсации.

Предварительные исследования показывают, что при *in situ* получении тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников Y–Ba–Cu–O (YBCO) в инвертированной магнетронной распылительной системе существенное влияние на состав конденсата оказывают все три упомянутых выше процесса [2]. В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния десорбции, обусловленной взаимодействием поверхности конденсации с частицами плазмы, на формирование состава тонких пленок YBCO при магнетронном напылении. Исследовались YBCO пленки толщиной около 20 nm, полученные при различных напряжениях смещения на подложке. Конструкция и особенности работы инвертированной магнетронной распылительной системы подробно описаны в [3]. Для исключения влияния тепловой активизации десорбции, подробно рассмотренной в [4], пленки напылялись без нагрева до температуры эпитаксии.

Элементный состав пленок определялся методом электронной Оже-спектроскопии в спектрометре "ЭСО-3". В каждой пленке регистрировался состав слоя на глубине 10 nm после выхода на стационарное состояние в ходе послыонного Оже-анализа при распылении ионами аргона с энергиями 500 eV под углом 46°. Использовались Оже-линии Y (126 eV), Ba (600 eV), Cu (920 eV) и O (512 eV). Анализировались относительные изменения атомных соотношений Cu/Y, Cu/Ba и Ba/Y.

В качестве подложек использовались пластины из нержавеющей стали размером 10 × 10 mm, на которые подавалось напряжение смещения, относительно опорного электрода — корпуса установки. Одна из подложек использовалась в качестве плоского зонда Ленгмюра для определения плавающего потенциала подложки. Температура плазмы в области подложки определялась с использованием двойного зонда Ленгмюра размером 14 × 0.1 mm.

На рис. 1 представлены вольт-амперные характеристики (ВАХ) плоского зонда Ленгмюра при различных давлениях рабочего газа. В целом ВАХ имеют типичный вид и подробно описаны, например в [5]. Место верхнего излома ВАХ фиксирует потенциал плазмы ($V_s = +1.2$ V относительно опорного электрода). При некотором отрицательном потенциале ($V_f = -1.0$ – -1.5 V относительно потенциала плазмы) ток на зонд исчезает. Такой потенциал (плавающий потенциал) приобретает помещенное в плазму изолированное тело. С ростом давления от 25 до

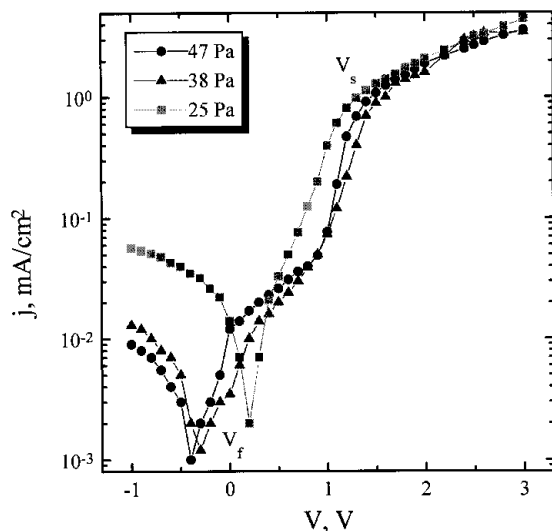


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики плоского зонда Ленгмюра при различных давлениях рабочего газа.

47 Pa плавающий потенциал увеличивается от -1.0 до -1.5 V. Увеличение плавающего потенциала объясняется в теории зонда Ленгмюра влиянием столкновений в переходном режиме [6]. Анализ характеристик двойного зонда Ленгмюра дает значения электронной температуры 0.28, 0.48 и 0.46 eV для давлений 25, 38 и 47 Pa соответственно.

На рис. 2 представлены атомные соотношения компонентов YBCO пленок, полученных при давлении рабочего газа 38 Pa и различных напряжениях смещения на подложке. Атомные соотношения пронормированы к максимальным значениям, которые приняты за стехиометрические. Такой способ представления данных позволяет избежать необходимости использования эталона и учета изменений состава, вызванных преимущественным распылением при послыном Оже-анализе. Из рис. 2 видно, что при напряжениях $+1.0$ – $+1.5$ V относительно опорного электрода, соответствующих потенциалу плазмы V_s на рис. 1, атомные соотношения принимают максимальные значения. При таких напряжениях отсутствует разность потенциалов между поверхностью конденсации и прилегающими областями плазмы. На растущую пленку попадают

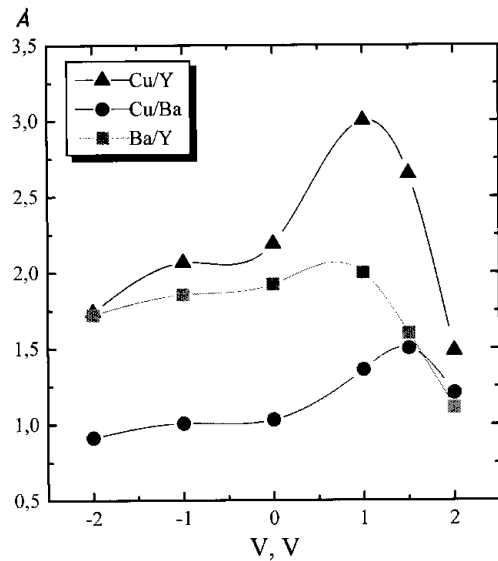


Рис. 2. Атомные соотношения (A) компонентов YBCO пленок, полученных при различных напряжениях смещения на подложке.

только тепловые ионы и электроны. При отрицательных относительно плазмы потенциалах (левее максимумов на рис. 2) вокруг подложки образуется область положительного объемного заряда. Тепловые ионы, попадающие в эту область, ускоряются по направлению к поверхности конденсации до энергий, соответствующих разности потенциалов между подложкой и прилегающими областями невозмущенной плазмы. Наблюдаемые на рис. 2 изменения в составе YBCO пленок (до 40%) обусловлены, по-видимому, селективной десорбцией атомов меди и бария с поверхности конденсации в результате бомбардировки ионами плазмы, ускоренными в поле подложки. Десорбция происходит и в результате бомбардировки поверхности конденсации электронами, ускоренными в поле подложки при положительных относительно плазмы потенциалах (правее максимумов на рис. 2), что подтверждает данные [7]. Основные изменения атомных соотношений Cu/Y и Cu/Ba происходят в диапазоне напряжений смещений до 0,5 В относительно потенциала плазмы, что существенно меньше порога распыления (17 эВ по данным [1]) и

соответствует энергии связи адатомов меди на стеклянной подложке (0.14 eV по данным [8]). Это подтверждает наше предположение о влиянии десорбции адатомов на формирование состава YBCO пленок при магнетронном напылении.

В ходе *in situ* роста YBCO пленок на различных диэлектрических подложках в присутствии неравновесной плазмы поверхность конденсации всегда заряжается до плавающего потенциала ($-1.0-1.5$ V в нашем случае). Рост пленок сопровождается бомбардировкой ионами плазмы, ускоренными в поле плавающего потенциала. Очевидно, что одним из эффектов бомбардировки является селективная десорбция адатомов компонентов, приводящая к существенному изменению состава конденсата. Более того, в реальных напылительных системах в непосредственной близости от подложки находятся некоторые элементы конструкции (детали подложкодержателя, части нагревателя). Они могут быть сделаны из диэлектрических материалов или могут запылиться толстой плохо проводящей YBCO пленкой. В результате поверхность конструкции заряжается до плавающего потенциала и становится источником нестехиометричных потоков десорбируемых YBCO компонентов, достигающих подложки [2].

Таким образом, при магнетронном напылении тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников существенное влияние на формирование состава конденсата может оказывать селективная десорбция компонентов (в нашем случае меди и бария) с подложки и окружающих элементов конструкции, обусловленная бомбардировкой ионами плазмы, ускоренными в поле плавающего потенциала.

Работа выполнена в рамках программы ГКНТ "Актуальные направления в физике конденсированных сред" (направление "Сверхпроводимость", проект 98064) и при поддержке РФФИ (грант 96-02-19283).

Список литературы

- [1] Майссел Л., Глэнг Р. Технология тонких пленок. М.: Сов. радио, 1977.
- [2] Drozdov Y.N., Gaponov S.V., Gusev S.A. et al. // ISEC'97 Extended Abstract Book. 1997. V. 2. P. 49-51.
- [3] Воробьев А.К., Клоенков Е.В., Таланов В.В. и др. // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 17. С. 785-798.
- [4] Drozdov Yu. N., Gaponov S.V., Gusev S.A. et al. // IEEE Trans. on Appl. Supercond. 1997. V. 7. N 2. P. 1642-1645.

- [5] Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1987.
- [6] Kirchhoff R.H., Peterson E.W., Talbot L. // Ракетная техника и космонавтика. 1971. N 9. С. 30–41.
- [7] Norio Terada, Hideo Ihara, Masatoshi Jo et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 4. P. L639–L642.
- [8] Чопра К.Л. Электрические явления в тонких пленках. М.: Мир, 1972.